

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/001311

International filing date: 10 February 2005 (10.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE
Number: 10 2004 007 829.7
Filing date: 18 February 2004 (18.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 09 June 2005 (09.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

05. 04. 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 10 2004 007 829.7

Anmeldetag: 18. Februar 2004

Anmelder/Inhaber: ISRA Vision Systems AG,
64297 Darmstadt/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn und zur
Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen

IPC: G 01 N, G 01 B, G 05 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. März 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schmidt C.

**Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn und
zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen**

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Planung einer Inspektions-
bahn für mindestens eine optische Aufnahmeeinrichtung, insbesondere eine
10 Kamera, zur Inspektion eines dreidimensionalen Objekts, bei dem die Aufnah-
meeinrichtung und das Objekt mittels einer Bewegungseinrichtung relativ zuein-
ander bewegbar sind. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur
Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen einer Oberfläche auf einem drei-
dimensionalen Objekt aus in elektronischer Form vorliegenden Konstruktionsda-
ten, insbesondere CAD-Daten, des Objekts.

15 Es gibt Verfahren zur Untersuchung von Oberflächen mit Kameras, bei denen
eine Kamera relativ zu einem zu untersuchenden Objekt bewegt und dabei die
Oberfläche des Objektes optisch abgetastet wird. Bei größeren Objekten ist es
notwendig, eine Inspektionsbahn vorzugeben, auf der die optische Aufnahme-
einrichtung bzw. Kamera an dem Objekt entlang gefahren wird. Dazu sind das
zu untersuchende Objekt und/oder die optische Aufnahmeeinrichtung auf einer
Bewegungseinrichtung, beispielsweise einem Laufband, einem Roboter, einem
Manipulator, einem Handhabungsgerät oder dgl., montiert, damit das Objekt und
die Aufnahmeeinrichtung relativ zueinander möglichst in allen Freiheitsgraden
bewegt werden können. Der Bewegungsablauf dieser Bewegungseinrichtung,
d.h. die Inspektionsbahn für die optische Aufnahmeeinrichtung, müssen der
25 Steuerung der Bewegungseinrichtung vorgegeben werden. Dies ist gerade bei
komplizierten dreidimensionalen Objekten, beispielsweise Karossen, aufwendig,
da viele Einstellungen notwendig sind, um den gesamten Oberflächenbereich
des Objektes abzutasten. Die Bewegungsabläufe der Bewegungseinrichtung
müssen in der Regel manuell konfiguriert oder zumindest manuell überprüft und
30 ggf. nachkorrigiert werden. Dabei müssen auch die zu inspizierenden Bereiche

auf der Oberfläche des Objektes ausgewählt werden. Auch diese Vorgaben erfolgen größtenteils manuell.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, Verfahren zur Planung von Inspektionsbahnen und zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen anzugeben, die einfacher zu handhaben und zuverlässig alle zu inspizierenden Bereiche abdecken.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn der eingangs genannten Art im Wesentlichen dadurch gelöst, dass aus den Konstruktionsdaten, insbesondere CAD-Daten und/oder aus Sensordaten erzeugten Daten, des Objekts und/oder eines zu inspizierenden Bereichs auf dem Objekt und den optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung, welche in elektronischer Form abgespeichert sind, die Inspektionsbahn für die optische Aufnahmeeinrichtung mittels einer Recheneinheit selbsttätig ermittelt wird, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeeinrichtung und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird. Dann ist es möglich, die erforderliche Bahn für die Aufnahmeeinrichtung aus den Konstruktionsdaten und den Abbildungseigenschaften der optischen Aufnahmeeinrichtung automatisch zu berechnen, ohne dass diese aufwendig manuell berechnet oder bestimmt werden muss. Durch Vorgabe bestimmter Aufnahmebedingungen, die insbesondere durch bestimmte geometrische Relationen zwischen der Aufnahmeeinrichtung und der zu inspizierenden Oberfläche definiert werden, ist es möglich, sämtliche Positionen für die Aufnahmeeinrichtung zu bestimmen, um das gesamte Objekt oder die zu inspizierenden Bereiche des Objektes während der optischen Inspektion vollständig abzudecken.

Die genaue Form des zu inspizierenden Objektes ist dabei durch in elektronischer gespeicherter Form vorliegenden Konstruktionsdaten des Objektes in beliebiger Genauigkeit bekannt. Aus diesen Informationen kann also eine In-

spektionsbahn automatisch bestimmt werden, ohne dass der Bewegungsablauf manuell vorgegeben werden muss. Es ist insbesondere auch möglich, die relevanten Konstruktionsdaten aus Sensordaten, bspw. durch Aufnahme und Auswertung von Bildern, Abtastung oder dgl. zu erzeugen. In diesem Fall ist ein
5 selbsttätiges Erlernen der notwendigen Konstruktionsdaten des Objekts möglich, so dass diese nicht von gesondert vorgegeben werden müssen. Die Abspeicherung der Daten erfolgt dann automatisch. Die Ermittlung der Konstruktionsdaten aus Sensordaten kann auch dazu verwendet werden, bereits vorhandene Konstruktionsdaten in ihrer Genauigkeit zu verbessern bzw. deren Auflösung zu verfeinern.
10

Dabei kann die Inspektionsbahn so geplant werden, dass die optische Aufnahmeeinrichtung über das stehende oder bewegte Objekt geführt wird, wobei vorzugsweise die Bewegungsmöglichkeiten der Bewegungseinrichtung berücksichtigt werden. Besonders vorteilhaft kann die Bewegungseinrichtung als Manipulator, Handhabungsgerät oder mehrachsige Verfahreinheit ausgebildet sein, die insbesondere eine Bewegung in mehreren Freiheitsgraden, beispielsweise um mehrere verschiedene Drehachsen, zulässt.
15

Bei der Planung der Inspektionsbahn werden vorzugsweise Aufnahmepositionen der Aufnahmeeinrichtung derart bestimmt, dass das gesamte dreidimensionale Objekt oder alle zu inspizierenden Bereiche auf dem Objekt durch aufgenommene Bilder abgedeckt werden. Dazu wird überprüft, ob die aus den Konstruktionsdaten ermittelten Oberflächen des Objektes, die inspiziert werden sollen,
25 vollständig durch die während der Inspektion aufgenommenen Bilder abgedeckt werden. Dies kann anhand der bekannten optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung und den durch Inspektionsbahn bestimmten Positionen der optischen Aufnahmeeinrichtung festgestellt werden.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung dieser Verfahrensvariante werden aus den Bewegungsinformationen der Bewegungseinrichtung und den ermittelten Aufnahmepositionen der Aufnahmeeinrichtung Zeitpunkte für die Aufnahme der Bilder bestimmt. Durch die Berücksichtigung der tatsächlichen Bewegungsinformationen der Bewegungseinrichtung und der Aufnahmepositionen während des Abfahrens der Inspektionsbahn können diese Informationen dann direkt bei dem optischen Abtasten verwendet werden, um die Aufnahme von Bildern insbesondere abhängig von Auflösung, Position und/oder Zeit zu steuern bzw. auszulösen.

Erfindungsgemäß kann der Aufnahmeeinrichtung eine Beleuchtungseinrichtung zugeordnet und die Inspektionsbahn ermittelt werden, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeeinrichtung, der Beleuchtungseinrichtung und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird. Dadurch wird die Inspektionsbahn auch unter Berücksichtigung der Beleuchtungssituation ermittelt. Für den Fall, dass die Beleuchtungseinrichtung und die Aufnahmeeinrichtung zu einer Inspektionseinheit zusammengefasst sind, wird die Inspektionsbahn für die Inspektionseinheit bestimmt. Es ist jedoch auch möglich, dass die Aufnahmeeinrichtung und die Beleuchtungseinrichtung mit separaten Bewegungseinrichtungen versehen sind, die unabhängig voneinander bewegt werden können. In diesem Fall wird die Inspektionsbahn so festgelegt, dass sowohl für die Aufnahmeeinrichtung als auch für die Beleuchtungseinrichtung je eine separate Inspektionsbahn vorgegeben wird, wobei beide Inspektionsbahnen zeitlich aufeinander abgestimmt sind. Entsprechendes gilt für den Fall, dass mehrere Aufnahmeeinrichtungen, Beleuchtungseinrichtungen und/oder Inspektionseinheiten vorgesehen sind.

Die Planung der Inspektionsbahn kann die Planung der Bewegungsabläufe sämtlicher Bewegungseinrichtungen sowie ggf. des Objektes selbst beinhalten, wenn auch dieses bewegbar ist. Dazu wird in einer besonders bevorzugten

Variante der vorliegenden Erfindung aus der Inspektionsbahn ein Bewegungsablauf für die Relativbewegung zwischen Objekt und Aufnahmeeinrichtung und/oder Beleuchtungseinrichtung ermittelt.

- 5 Bei der Ermittlung des Bewegungsablaufs wird vorzugsweise berücksichtigt, dass die Inspektionszeit möglichst kurz und/oder der Inspektionsweg möglichst klein gehalten wird, um den Bewegungsablauf während der Inspektion zu optimieren.

- 10 Da das Bild der optischen Aufnahmeeinrichtung je nach den optischen Aufnahmeeigenschaften, beispielsweise der Kamerabrennweite, einen wesentlich größeren Bildausschnitt als den zu inspizierenden Bereich der Oberfläche aufweisen kann, kann jedem Bild der optischen Aufnahmeeinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ein Inspektionsbereich innerhalb des Bildes zugeordnet werden, der während der Inspektion dann von einer Bildverarbeitungssoftware
- 15 ausgewertet wird.

- Dazu kann insbesondere vorgesehen sein, dass anhand des Inspektionsbereichs und der Inspektionsbahn überprüft wird, ob das durch die Konstruktionsdaten definierte Objekt oder der zu inspizierende Bereich auf dem Objekt vollständig abgedeckt wird. Dies kann beispielsweise durch eine rechnergestützte Simulation des Inspektionsverlaufs anhand der ausgerechneten Inspektionsbahnen erfolgen, wobei die in den Bildern definierten Inspektionsbereiche auf dem anhand der Konstruktionsdaten definierten Objekt markiert werden, um zu
- 25 überprüfen, ob tatsächlich sämtliche zu inspizierende Bereiche abgedeckt sind.

- Um eine zusätzliche manuelle Kontrolle zu ermöglichen, kann vorgesehen werden, dass die Inspektionsbahn und/oder die auf dem Objekt definierten zu inspizierenden Bereiche auf einem Anzeigemittel, insbesondere einem Bildschirm,
- 30 visualisiert werden.

Die erfindungsgemäße Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen einer Oberfläche auf einem dreidimensionalen Objekt aus in elektronischer Form vorliegenden Konstruktionsdaten, insbesondere CAD-Daten des Objekts, gelöst, was in vorteilhafter Weise mit dem zuvor beschriebenen Verfahren kombiniert werden kann. Es ist jedoch auch möglich, die Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen eines Objektes losgelöst von der Planung einer Inspektionsbahn anzuwenden. Erfindungsgemäß wird dabei für bestimmte Bereiche auf dem Objekt vorgegeben, ob und auf welche Weise diese Bereiche inspiziert werden sollen, wobei dann während der Inspektion mit einer Aufnahmeeinrichtung eine Zuordnung dieser zu inspizierenden Bereiche zu den tatsächlich aufgenommenen Bildern erfolgt. Dadurch wird während der Inspektion überprüft, ob tatsächlich alle zu inspizierenden Bereiche erfasst wurden. Diese Kontrolle während der Inspektion lässt sich sowohl bei einer automatischen als auch bei einer manuellen Bahnplanung anwenden und stellt sicher, dass tatsächlich das gesamte Objekt erfasst wurde.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform dieses erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass nicht zu inspizierende Bereiche und/oder auf eine bestimmte Art zu inspizierende Bereiche durch aus den Konstruktionsdaten des Objektes bestimmbare Parameter, insbesondere geometrische Formen oder Relationen, automatisch ermittelt werden. Auf diese Weise können auch sämtliche zu inspizierenden Bereiche des Objektes automatisch anhand der Konstruktionsdaten ermittelt werden. Dagegen werden die Bereiche, bei denen eine sinnvolle Inspektion beispielsweise aufgrund ihrer geometrischen Ausformung nicht möglich ist, automatisch unterdrückt, ohne dass diese Bereiche manuell ausgewählt oder gekennzeichnet werden müssen. Dadurch reduziert sich der manuelle Aufwand für die Auswahl der zu inspizierenden Bereiche erheblich.

Vorzugsweise können die zu inspizierenden Bereiche als berechnete bzw. künstliche Bilder abgespeichert werden, die anhand der Konstruktionsdaten des Objektes erzeugbar sind. Diese künstlichen Bilder können dann mit den tatsächlich aufgenommenen Bildern während der Inspektion verglichen werden. Zusätzlich ist es möglich, diese berechneten Bilder zu visualisieren, um eine optische Überprüfungsmöglichkeit zu bieten.

In einer besonderen Ausgestaltung dieses erfindungsgemäßen Verfahrens sind die automatisch generierten, zu inspizierenden Bereiche manuell nachbearbeitbar, um Korrekturen an den automatisch generierten Inspektionsbereichen vornehmen zu können.

Zur Kontrolle kann ferner vorgesehen werden, dass die künstlichen Bilder mit den zu inspizierenden Bereichen und/oder eine Visualisierung der zu inspizierende Bereiche in die tatsächlich aufgenommenen Bilder eingeblendet werden.

Um während der Inspektion eine genauere Zuordnung von den zu inspizierenden Bereichen zu den tatsächlichen Bildern zu erreichen, können aus den Konstruktionsdaten ermittelte Merkmale in den zu inspizierenden Bereichen erfindungsgemäß mit in den aufgenommenen Bildern erkennbaren Merkmalen verglichen werden. Aufgrund dieses Vergleichs kann, sofern eine Abweichung in der Lage der Merkmale auftritt, ggf. eine Lagekorrektur durchgeführt werden, indem die Merkmale in den zu inspizierenden Bereichen und den Bildern übereinander geschoben werden. Durch diesen Abgleich wird die Zuordnung der zu inspizierenden Bereiche zu den tatsächlichen Bildern für den weiteren Inspektionsverlauf erleichtert. Bei der Suche nach Merkmalen können neben dem aktuellen Bild auch bereits aufgenommene Bilder herangezogen werden.

Gemäß besonders bevorzugten Ausführungsformen der beiden vorbeschriebenen Verfahren werden auch die optischen Aufnahmeeinrichtungen dreidimensi-

onal kalibriert. Auf diese Weise ist es möglich, die Lage des aufgenommenen Objekts aus den Bildern selbst sehr genau zu ermitteln. Dies ermöglicht eine Feinpositionierung anhand von in den Bildern erkennbaren Merkmalen, die mit den Merkmalen aus den Konstruktionsdaten verglichen werden können. Auf diese Weise kann also durch Vergleich der dreidimensional kalibrierten Daten mit den Konstruktionsdaten eine Feinpositionierung des Objektes durchgeführt werden. Diese Art der Feinpositionierung ist besonders vorteilhaft, weil dadurch sichergestellt wird, dass die zu inspizierenden Bereiche korrekt in die realen Bilder projiziert werden. Diese Gewissheit besteht nicht, wenn beispielsweise nur die Position des zu inspizierenden Objekts durch Sensoren genau erfasst wird, da weitere Fehlerquellen, wie beispielsweise ein Verrutschen des Objektes auf der Bewegungseinrichtung, nicht zuverlässig erfasst werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Aufnahmeeinrichtung und die Bewegungseinrichtung aufeinander kalibriert sind. Dann sind ihre Koordinaten relativ zueinander in einem Koordinatensystem bekannt, so dass ihre relativen Positionen jederzeit einfach und genau bestimmbar sind.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der erfindungsgemäßen Verfahren werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. Dabei sind alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination Teil der vorliegenden Erfindung, unabhängig von der Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbezüge.

Es zeigen:

Fig. 1 schematisch den Verfahrensablauf zur Planung einer Inspektionsbahn;

Fig. 2 schematisch den Verfahrensablauf zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen einer Oberfläche und

Fig. 3 schematisch ein Bild mit zu inspizierenden Bereichen auf einem Objekt.

Fig. 1 stellt schematisch ein System 1 zur Oberflächeninspektion dar, bei dem gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren Inspektionsbahnen 2 über ein als Karosse ausgebildetes dreidimensionales Objekt 3 für eine optische Aufnahmeeinrichtung 4 ermittelt werden. Dieses System ist bspw. zur Lackinspektion geeignet. Es ist jedoch nicht auf die Lack- oder Oberflächeninspektion von Karossen beschränkt. Der Vorteil liegt gerade darin, dass dieses System flexibel für die verschiedensten Anwendungen einsetzbar ist und einfach umkonfiguriert werden kann.

Die optische Aufnahmeeinrichtung 4 ist in dem dargestellten Beispiel in eine Inspektionseinheit integriert, in der mindestens eine Kamera als Aufnahmeeinrichtung 4 und mindestens eine Beleuchtungseinrichtung angeordnet sind. Die optische Aufnahmeeinrichtung 4 kann mittels einer als Roboter bzw. Manipulator vorgesehenen Bewegungseinrichtung 5 relativ zu dem dreidimensionalen Objekt 3 bewegt werden, das seinerseits über eine als Förderband ausgebildete Bewegungseinrichtung 6 bewegbar ist. Dadurch kann eine Relativbewegung zwischen der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 und dem dreidimensionalen Objekt 3 erreicht werden. Die Bewegungseinrichtungen 5 und 6 werden durch eine gemeinsame Steuereinrichtung 7 angesteuert.

Von dem Objekt 3 und/oder von auf dem Objekt 3 zu inspizierenden Bereichen liegen in elektronischer Form gespeicherte Konstruktionsdaten 8 vor, die insbesondere CAD-Daten eines entsprechenden dreidimensionalen Konstruktionsprogramms sind. Aus diesen Konstruktionsdaten kann der dreidimensionale

Aufbau des Objektes 3 abgeleitet werden. Ferner sind die optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung 4 als Kameraparameter 9 bekannt. Diese Kameraparameter 9 werden vorzugsweise mithilfe einer automatischen Kamerakalibrierung erzeugt, welche sowohl die Abbildungseigenschaften als auch die Position der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 bzw. Kamera im Raum umfassen.

Derartige Kalibrierungen können anhand von ortsfest an bekannten Positionen angeordneten Platten mit Mustern, beispielsweise Punkten, automatisch erzeugt werden. Aus den bekannten Positionen und Mustern der Kalibrationsplatten werden dabei sowohl die Abbildungseigenschaften der Kameras 4 als auch deren Position im Raum sehr genau bestimmt. Für den Fall einer ortsfest installierten Kamera, bei der die Relativbewegung zwischen dem dreidimensionalen Objekt 3 und der fest installierten Kamera durch die dem Objekt 3 zugeordnete Bewegungseinrichtung 6 erfolgt, kann die Kalibrationsplatte auf einer eigenen Bewegungseinrichtung angebracht sein. Zur Durchführung der Kalibrierung werden dann die Bewegungseinrichtungen mit der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 und/oder der Kalibrationsplatte in eine Kalibrationsposition gefahren, ein Bild aufgenommen und durch eine entsprechende Kalibrationssoftware ausgewertet.

Die Konstruktionsdaten 8 und die Kameraparameter 9 werden durch eine Recheneinheit 10 eingelesen. Mit diesen Daten kann die Recheneinheit 10 gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren die Inspektionsbahn(en) 2 für die optische Aufnahmeeinrichtung 4 selbsttätig ermitteln, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeeinrichtung und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird. Durch Vorgabe der geometrischen Relation, beispielsweise des Abstands zwischen der zu inspizierenden Oberfläche und der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 und/oder des Winkels zwischen der Oberflächennormalen und der optischen Achse der Aufnahmeeinrichtung 4, kann ein

5 Programm der Recheneinheit 10 anhand der elektronischen Konstruktionsdaten 8 und der Kameraparameter 9 die optimale Inspektionsbahn 2 der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 für das Objekt 3 berechnen. Dabei können in den Konstruktionsdaten 8 auch Stützpunkte vorgegeben werden, die durch eine Inspektionsbahn 2 miteinander zu verbinden sind.

10 Bei einem System mit einer stationären Aufnahmeeinrichtung liegen die möglichen Inspektionsbahnen 2 mit der Ausrichtung der Aufnahmeeinrichtung bereits fest. In diesem Fall beschränkt sich die Planung der Inspektionsbahn 2 auf die Berechnung der Bildspur, die die optische Aufnahmeeinrichtung über die Karosse 3 zieht. Bei beweglichen Aufnahmeeinrichtungen 4 kann dagegen die Position der Aufnahmeeinrichtung flexibel an die Oberflächenform des zu untersuchenden Objekts 3 angepasst werden. Insbesondere bei kleineren optischen Aufnahmeeinrichtungen 4 ist es möglich, die Inspektionsbahn frei auf der Oberfläche des Objektes 3 zu planen, da die optische Aufnahmeeinrichtung 4 mit 15 einer großen Anzahl von Freiheitsgraden über das stehende oder bewegte Objekt 3 geführt werden kann.

25 Bei der Planung der Inspektionsbahnen 2 werden unter Ausnutzung der bekannten optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung 4 die jeweiligen Aufnahmepositionen derart bestimmt, dass das gesamte dreidimensionale Objekt 3 oder alle vorher festgelegten zu inspizierenden Bereiche auf dem Objekt 3 durch die aufgenommenen Bilder abgedeckt werden. Dabei kann die gesamte Inspektionsbahn 2 auch aus mehreren, nicht zusammenhängenden Bahnabschnitten bestehen, die durch Zwischenbahnen verbunden werden. Die Zwischenbahnen werden mit einer höheren Geschwindigkeit durchfahren, da auf diesen Zwischenbahnen keine Bildaufnahmen generiert werden.

30 Aus der Inspektionsbahn 2 für die optische Aufnahmeeinrichtung 4 kann unter Ausnutzung von Bewegungsinformationen 11, die die Bewegungsmöglichkeiten

der Bewegungseinrichtungen 5, 6 umfassen, ein Bewegungsablauf für die Relativbewegung zwischen Objekt 3 und Aufnahmeeinrichtung 4 ermittelt werden. Dieser Bewegungsablauf wird von der Recheneinheit 10 an die Steuereinrichtung 7 ausgegeben, die die Bewegungseinrichtungen 5, 6 steuert. Schließlich können unter Berücksichtigung der Bewegungsinformationen 11 der Bewegungseinrichtung 5, 6 und den zuvor bestimmten Aufnahmepositionen der Aufnahmeeinrichtung 4 die richtigen Zeitpunkte für die Aufnahme der Bilder während des Bewegungsablaufs der Bewegungseinrichtungen 5, 6 bestimmt werden.

Damit werden bei der erfindungsgemäßen Planung einer Inspektionsbahn 2 alle Bahnen bestimmt, die die einzelnen Aufnahmeeinrichtungen 4 bzw. Kameras über das Objekt 3, beispielsweise die Karosse, ziehen müssen, damit alle zu inspizierenden Bereiche des Objektes durch Bilder abgedeckt sind. Aus diesen Inspektionsbahnen 2 wird dann der Bewegungsablauf der verschiedenen Bewegungseinrichtungen 5, 6 ermittelt, beispielsweise in Form von zu fahrenden Manipulatorbahnen. Entlang dieser Manipulatorbahnen werden aus den vorher festgelegten Aufnahmepositionen auf der Inspektionsbahn die Zeitpunkte für die Bildaufnahmen der jeweiligen optischen Aufnahmeeinrichtung 4 bestimmt, indem beispielsweise die zu den jeweiligen Zeitpunkten gehörenden Kamerapositionen festgelegt werden. Dieser Bewegungsablauf wird von der Recheneinheit 10 als Steuerungsprogramm der Steuereinrichtung 7 zugeführt, welche dann die Bewegungseinrichtungen 5, 6 automatisch in die richtigen Positionen bewegt.

Zusätzlich zu der automatischen Bahnplanung schlägt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen 12 auf einer Oberfläche vor. Häufig gibt es auf den dreidimensionalen Objekten 3, beispielsweise einer Karosse, bestimmte Zonen, die nicht inspiziert werden sollen. Dies können beispielsweise lackierte Flächen sein, die später durch Zier- oder Stoßleisten abgedeckt werden, Scheibenfalze, Biegefalze von Sicken, Seitenflächen

von konkaven Einbuchtungen, wie z.B. Nummerschildeinbuchtungen, oder Randbereiche von Blechkanten oder dgl. sein.

Derartige nicht zu inspizierende Bereiche 13 sind in Fig. 3 dargestellt. Dabei handelt es sich um einen senkrechten Holmen und eine horizontalen Anbringfläche für eine Stoßleiste auf einer Karosse 3. Diese nicht zu inspizierenden Bereiche 13 können aus den Konstruktionsdaten 8 anhand ihrer geometrischen Form und ihrer Erscheinung automatisch ermittelt werden. Diese nicht zu inspizierenden Bereiche 13 werden auf dem Objekt 3 vorgegeben. Gleiches gilt für die zu inspizierenden Bereiche 12, wobei während der Inspektion mit einer Aufnahmeeinrichtung 4 eine Zuordnung dieser zu inspizierenden Bereiche 12 zu den tatsächlich aufgenommenen Bildern erfolgt. Die Zuordnung zu den Bildern kann aufgrund der Konstruktionsdaten 8 und der bekannten Kameraparameter 9 erfolgen, so dass ein Bild 14 einer optischen Aufnahmeeinrichtung 4 sowohl zu inspizierende Bereiche 12 als auch nicht zu inspizierende Bereiche 13 aufweist.

Die Ermittlung dieser Bereiche 12, 13 wird aus den Konstruktionsdaten 8 und den die optischen Abbildungseigenschaften und die Kamerapositionen enthaltenden Kameraparametern 9 der optischen Aufnahmeeinrichtung 4 mit einer Recheneinheit 15 ermittelt. Dabei kann die Recheneinheit 15 mit der Recheneinheit 10 zur Durchführung der automatischen Bahnplanung identisch sein. Die Recheneinheit 15 berechnet alle während der Inspektion aufzunehmenden Kamerabilder und bildet die zu inspizierenden Bereiche 12 darin ab. Komplementär dazu gibt es in den berechneten Bildern 14 nicht zu inspizierende Bereiche 13.

Die automatisch generierten, zu inspizierenden Bereiche 12 in den berechneten Bildern 14 können beispielsweise mit einem grafischen Feineditor 17 nachbearbeitet werden. Mit dem Feineditor 17 können auch verschiedene Inspektionszonen festgelegt werden.

In einem Speicher 16 werden die von der Recheneinheit 15 ggf. unter Nachbearbeitung durch den Feineditor 17 erzeugten Bilder 14 mit den zu inspizierenden Bereichen 12 und/oder den nicht zu inspizierenden Bereichen 13 für jede Aufnahmeeinrichtung 4 abgelegt. Die Nachbearbeitung erfolgt mittels des in der Recheneinheit 15 enthaltenen grafischen Editors 17.

Um zu überprüfen, ob durch die in der Speichereinrichtung 16 für jede Kamera abgelegten, zu inspizierenden Bereiche 12 tatsächlich die gesamte gewünschte Oberfläche abgedeckt wird, gibt es in der Recheneinheit 15 ein Überprüfungsmodul 18, das die Abdeckung des Objekts 3 mit den zu inspizierenden Bereichen 12 überprüft.

Um eine genaue Ausrichtung des Objektes 3 in den tatsächlich aufgenommenen Kamerabildern in Übereinstimmung mit den berechneten Kamerabildern 14, in denen die zu inspizierenden und/oder die nicht zu inspizierenden Bereiche 12, 13 definiert sind, zu erreichen, wird eine Feinpositionierung des Objektes 13 durch Vergleich der dreidimensional kalibrierten aufgenommenen Bilder mit den Konstruktionsdaten 8 durchgeführt. Dadurch wird erreicht, dass die berechneten Bilder 14 und die aufgenommenen Kamerabilder tatsächlich deckungsgleich aufeinanderliegen. Dies kann durch Überprüfung markanter geometrischer Formen in den aus den Konstruktionsdaten 8 berechneten Bildern 14 und den aufgenommenen Bildern erfolgen. Dadurch wird sichergestellt, dass insbesondere die zu inspizierenden Bereiche 12 in den aufgenommenen Bildern richtig definiert und von der nachfolgenden Bildauswertung richtig verarbeitet werden.

Durch die automatische Bahnplanung und Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen, die besonders automatisch aus den Konstruktionsdaten erfolgt und während der Durchführung der Inspektion überprüft wird, wird die Oberflächeninspektion mithilfe von optischen Aufnahmesystemen erheblich vereinfacht, da

eine manuelle Konfiguration der Inspektionssystem sowie eine manuelle Vorgabe von Inspektionsbahnen weitgehend entfällt.

Bezugszeichenliste:

5	1	System zur Oberflächeninspektion
	2	Inspektionsbahn
	3	dreidimensionales Objekt, Karosse
	4	optische Aufnahmeeinrichtung
	5	Bewegungseinrichtung, Manipulator
10	6	Bewegungseinrichtung, Förderband
	7	Steuereinrichtung
	8	Konstruktionsdaten
	9	Kameraparameter, optische Abbildungseigenschaften
	10	Recheneinheit
15	11	Bewegungsinformationen
	12	zu inspizierende Bereiche
	13	nicht zu inspizierende Bereiche
	14	Bilder
	15	Recheneinheit
	16	Speicher
	17	Feineditor
	18	Überprüfungsmodul

Patentansprüche:

- 5 1. Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn (2) für mindestens eine
optische Aufnahmeeinrichtung (4), insbesondere eine Kamera, zur Inspektion
eines dreidimensionalen Objekts (3), bei dem die Aufnahmeeinrichtung (4) und
das Objekt (3) mittels einer Bewegungseinrichtung (5, 6) relativ zueinander
bewegbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Konstruktionsdaten
10 (8), insbesondere CAD-Daten und/oder sensorisch ermittelten Daten, des Ob-
jekts (3) und/oder eines zu inspizierenden Bereichs (12) auf dem Objekt und
den optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung (4), welche in
elektronischer Form abgespeichert sind, die Inspektionsbahn (2) für die optische
Aufnahmeeinrichtung (4) mittels einer Recheneinheit (10) selbsttätig ermittelt
15 wird, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeein-
richtung (4) und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische
Aufnahmeeinrichtung (4) über das stehende oder bewegte Objekt (3) geführt
wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
Aufnahmepositionen der Aufnahmeeinrichtung (4) derart bestimmt werden, dass
das gesamte dreidimensionale Objekt (3) oder alle zu inspizierenden Bereiche
25 (12) auf dem Objekt durch aufgenommene Bilder abgedeckt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter Be-
rücksichtigung von Bewegungsinformationen (11) der Bewegungseinrichtung (5,
6) und den Aufnahmepositionen der Aufnahmeeinrichtung (4) Zeitpunkte für die
30 Aufnahme der Bilder bestimmt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aufnahmeeinrichtung (4) eine Beleuchtungseinrichtung zugeordnet und dass die Inspektionsbahn (2) ermittelt wird, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeeinrichtung (4), der Beleuchtungseinrichtung und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird.

6. Verfahren einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus der Inspektionsbahn (2) ein Bewegungsablauf für die Relativbewegung zwischen Objekt (3) und Aufnahmeeinrichtung (4) und/oder Beleuchtungseinrichtung ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung des Bewegungsablaufs die Inspektionszeit möglichst kurz und/oder der Inspektionsweg möglichst klein gehalten wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedem Bild der optischen Aufnahmeeinrichtung (4) ein zu inspizierender Bereich (12) innerhalb des Bildes zugeordnet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand des zu inspizierenden Bereichs (12) und der Inspektionsbahn (2) überprüft wird, ob das durch die Konstruktionsdaten (8) definierte Objekt (3) oder der durch die Konstruktionsdaten (8) definierte gesamte zu inspizierende Bereich (12) auf dem Objekt (3) vollständig abgedeckt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Inspektionsbahn (2) und/oder die auf einem Objekt (3)

definierten zu inspizierenden Bereiche (12) auf einem Anzeigemittel, insbesondere einem Bildschirm, visualisiert werden.

5 11. Verfahren zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen (12) einer Oberfläche auf einem dreidimensionalen Objekt (3) aus in elektronischer Form vorliegenden Konstruktionsdaten (8), insbesondere CAD-Daten, des Objekts (3),
10 **dadurch gekennzeichnet**, dass für bestimmte Bereiche (12, 13) auf dem Objekt vorgegeben wird, ob und auf welche Weise diese Bereiche (12, 13) inspiziert werden sollen, und dass während der Inspektion mit einer Aufnahmeeinrichtung (4) eine Zuordnung dieser zu inspizierenden Bereiche (12) zu den tatsächlich aufgenommenen Bildern erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu inspizierende Bereiche (12), nicht zu inspizierende Bereiche (13) und/oder auf eine
15 bestimmte Art zu inspizierende Bereiche (12) aus den Konstruktionsdaten (8), insbesondere durch Bestimmung geometrischer Formen oder sonstiger Parameter, automatisch ermittelt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zu inspizierenden Bereiche (12) als berechnete Bilder (14) abgespeichert und/oder visualisiert werden.

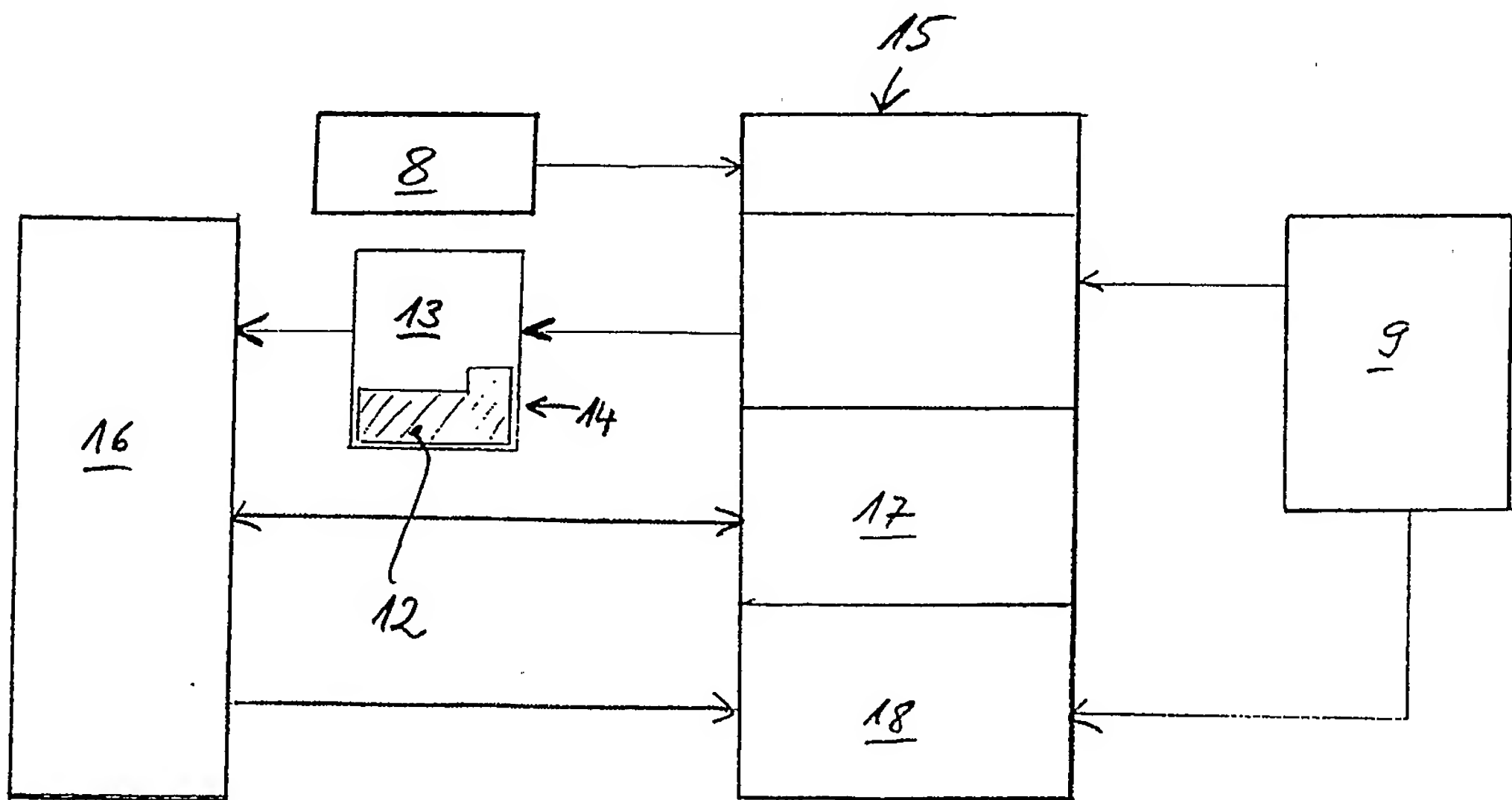
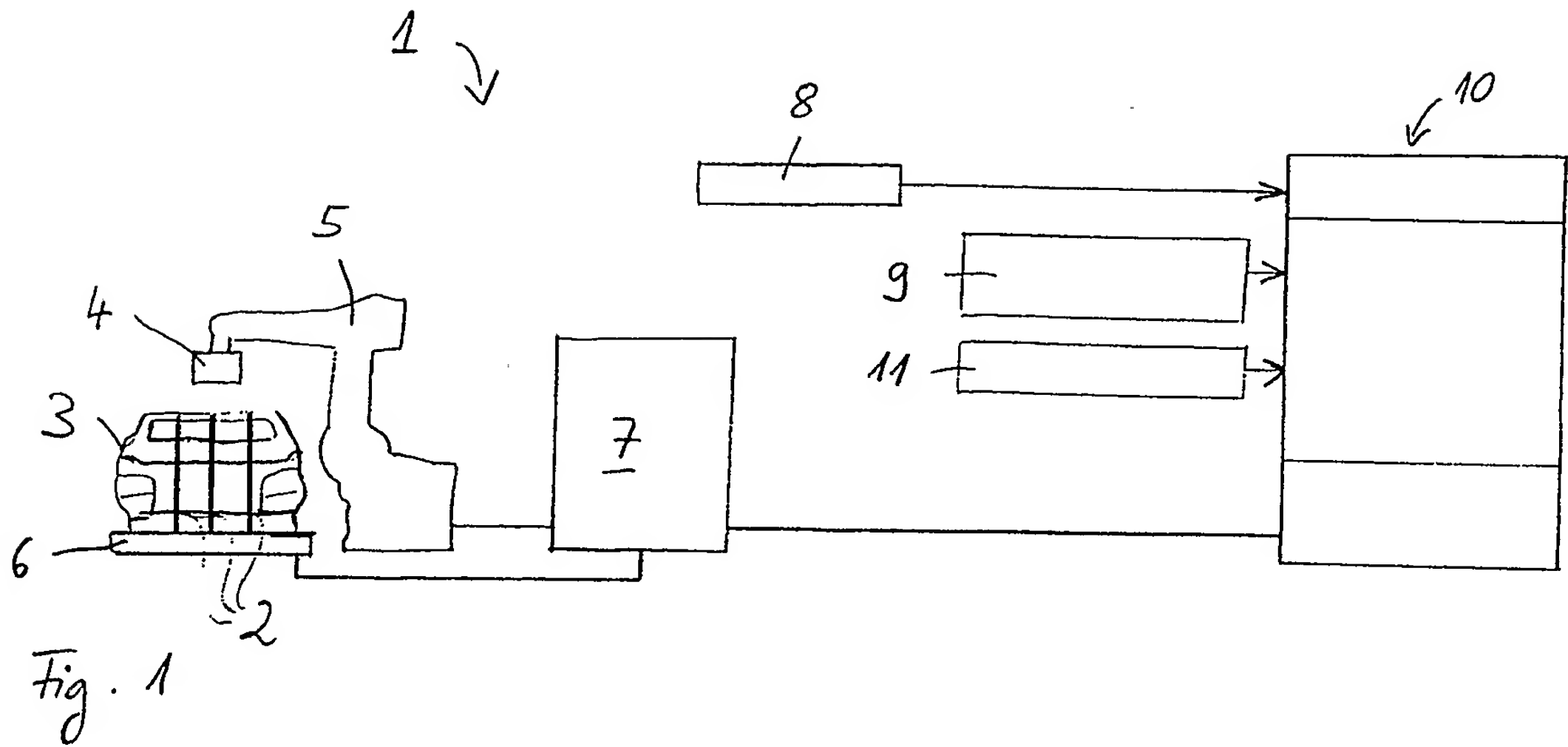
14. Verfahren nach Anspruch 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die automatisch generierten, zu inspizierenden Bereiche (12) manuell bearbeitbar
25 sind.

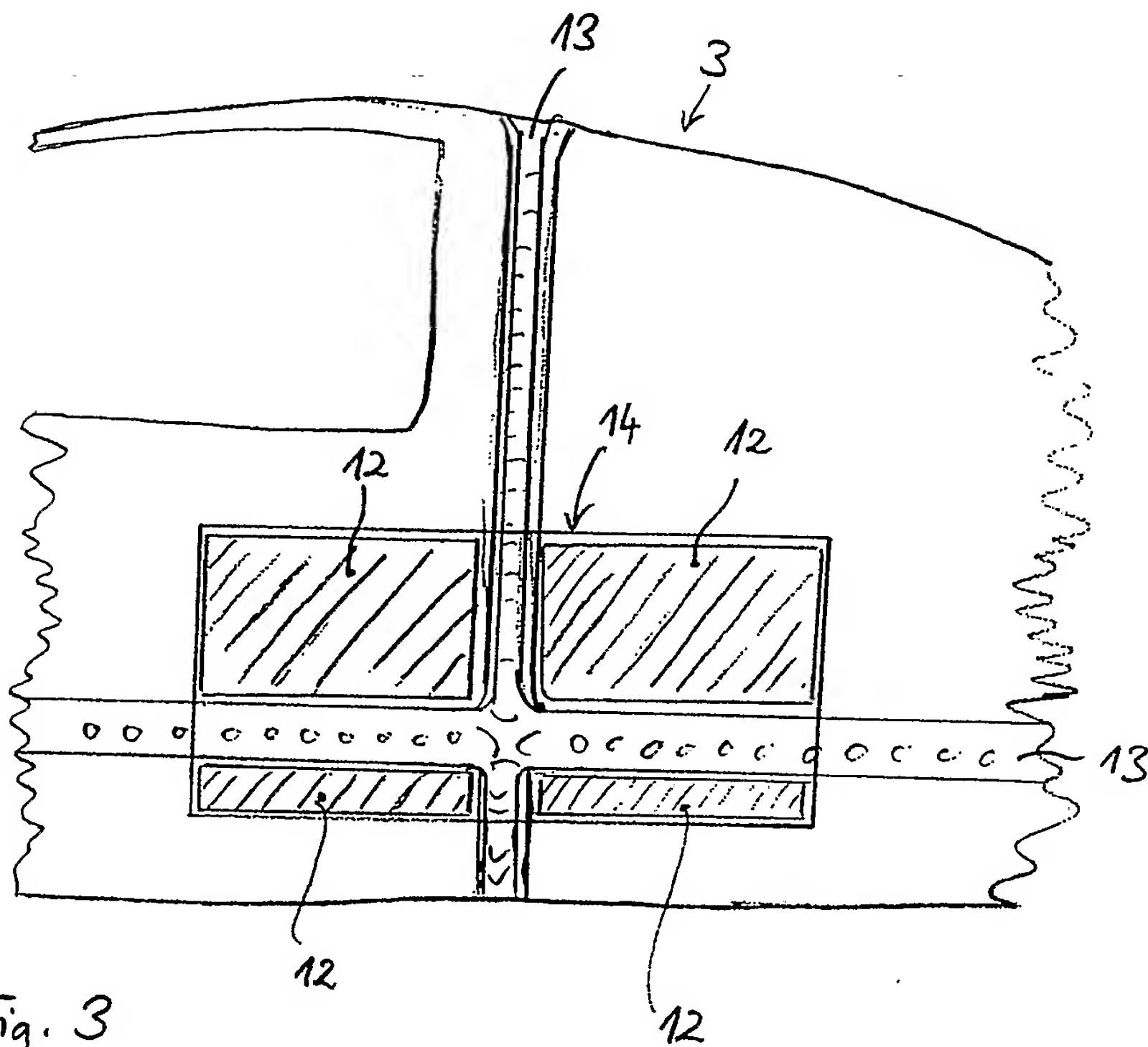
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die berechneten Bilder (14) mit den zu inspizierenden Bereichen (12) und/oder eine Visualisierung der zu inspizierenden Bereiche (12) in die tatsächlich aufgenommenen Bilder eingeblendet werden.
30

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Konstruktionsdaten (8) ermittelte Merkmale in den zu inspizierenden Bereichen (2) mit in den aufgenommenen Bildern erkennbaren Merkmalen verglichen werden und aufgrund des Vergleichs ggf. eine Lagekorrektur durchgeführt wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Aufnahmeeinrichtung (4) dreidimensional kalibriert ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Feinpositionierung des Objekts (3) im Bild durchgeführt wird.





ISRA
Vision Systems AG
Industriestraße 14
64297 Darmstadt

Zusammenfassung:

Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn und zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen

Es wird ein Verfahren zur Planung einer Inspektionsbahn (2) für mindestens eine optische Aufnahmeeinrichtung (4), insbesondere eine Kamera, zur Inspektion eines dreidimensionalen Objekts (3) beschrieben, bei dem die Aufnahmeeinrichtung (4) und das Objekt (3) mittels einer Bewegungseinrichtung (5, 6) relativ zueinander bewegbar sind. Damit das Verfahren zur Planung von Inspektionsbahnen und zur Bestimmung von zu inspizierenden Bereichen einfach zu handhaben ist und zuverlässig alle zu inspizierenden Bereiche abdeckt, ist vorgesehen, dass aus den Konstruktionsdaten (8), insbesondere CAD-Daten und/oder sensorisch ermittelten Daten, des Objekts (3) und/oder eines zu inspizierenden Bereichs (12) auf dem Objekt und den optischen Abbildungseigenschaften der Aufnahmeeinrichtung (4), welche in elektronischer Form abgespeichert sind, die Inspektionsbahn (2) für die optische Aufnahmeeinrichtung (4) mittels einer Recheneinheit (10) selbsttätig ermittelt wird, indem eine bestimmte geometrische Relation zwischen der Aufnahmeeinrichtung (4) und der zu inspizierenden Oberfläche vorgegeben wird. (Fig. 1)

